

Taylorreaktor für Stoffumwandlungen, bei deren Verlauf eine Änderung der Viskosität ν des Reaktionsmediums eintritt

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen neuen Taylorreaktor für physikalische und/oder chemische Stoffumwandlungen, in deren Verlauf eine Änderung der Viskosität ν des Reaktionsmediums eintritt. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung ein neues Verfahren zur Stoffumwandlung, welche von einer Viskositätsänderung des Reaktionsmediums begleitet ist, unter den Bedingungen
- 10 der Taylor-Wirbelströmung. Des weiteren betrifft die Erfindung Stoffe, welche mit Hilfe des neuen Verfahrens in dem neuen Taylorreaktor hergestellt worden sind, sowie deren Verwendung.

- 15 Taylorreaktoren, die der Umwandlung von Stoffen unter den Bedingungen der Taylor-Wirbelströmung dienen, sind bekannt. Sie bestehen in wesentlichen aus zwei coaxialen konzentrisch angeordneten Zylindern, von denen der äußere feststehend ist und der innere rotiert. Als Reaktionsraum dient das Volumen, das durch den Spalt der Zylinder gebildet wird. Mit zunehmender Winkelgeschwindigkeit ω_i des Innenzylinders treten einer Reihe unterschiedlicher
- 20 Strömungsformen auf, die durch eine dimensionslose Kennzahl, die sogenannte Taylor-Zahl Ta , charakterisiert sind. Die Taylor-Zahl ist zusätzlich zur Winkelgeschwindigkeit des Rührers auch noch abhängig von der kinematischen Viskosität ν des Fluids im Spalt und von den geometrischen Parametern, dem äußeren Radius des Innenzylinders r_i , dem inneren Radius des Außenzylinders r_a
- 25 und der Spaltbreite d , der Differenz beider Radien, gemäß der folgenden Formel:

$$Ta = \omega_i r_i d \nu^{-1} (d/r_i)^{1/2} \quad (I)$$

mit $d = r_a - r_i$.

- 30 Bei niedriger Winkelgeschwindigkeit bildet sich die laminare Couette-Strömung, eine einfache Scherströmung, aus. Wird die Rotationsgeschwindigkeit des Innenzylinders weiter erhöht, treten oberhalb eines kritischen Werts abwechselnd

entgegengesetzt rotierende (kontrarotierende) Wirbel mit Achsen längs der Umfangsrichtung auf. Diese sogenannten Taylor-Wirbel sind rotationssymmetrisch, besitzen die geometrische form eines Torus (Taylor-Wirbelringe) und haben einen Durchmesser, der annähernd so groß ist wie die Spaltbreite. Zwei benachbarte Wirbel bilden ein Wirbelpaar oder eine Wirbelzelle.

Dieses Verhalten beruht darauf, daß bei der Rotation des Innenzylinders mit ruhendem Außenzylinder die Fluidpartikel nahe des Innenzylinders einer stärkeren Zentrifugalkraft ausgesetzt sind als diejenigen, die weiter vom inneren Zylinder entfernt sind. Dieser Unterschied der wirkenden Zentrifugalkräfte drängt die Fluidpartikel vom Innen- zum Außenzylinder. Der Zentrifugalkraft wirkt die Viskositätskraft entgegen, da bei der Bewegung der Fluidpartikel die Reibung überwunden werden muß. Nimmt die Rotationsgeschwindigkeit zu, dann nimmt auch die Zentrifugalkraft zu. Die Taylor-Wirbel entstehen, wenn die Zentrifugalkraft größer als die stabilisierende Viskositätskraft wird.

Wird der Taylorreaktor mit einem Zu- und Ablauf versehen und kontinuierlich betrieben, resultiert eine Taylor-Wirbelströmung mit einem geringen axialen Strom. Dabei wandert jedes Wirbelpaar durch den Spalt, wobei nur ein geringer Stoffaustausch zwischen benachbarten Wirbelpaaren auftritt. Die Vermischung innerhalb solcher Wirbelpaare ist sehr hoch, wogegen die axiale Vermischung über die Paargrenzen hinaus nur sehr gering ist. Ein Wirbelpaar kann daher als gut durchmischter Rührkessel betrachtet werden. Das Strömungssystem verhält sich somit wie ein ideales Strömungsrohr, indem die Wirbelpaare mit konstanter Verweilzeit wie ideale Rührkessel durch den Spalt wandern.

Die bislang bekannten Taylorreaktoren können für die Emulsionspolymerisation verwendet werden. Hierzu sei beispielhaft auf die Patentschriften DE-B-1 071 241 und EP-A-0 498 583 oder auf den Artikel von K. Kataoka in Chemical Engineering Science, Band 50, Heft 9, 1995, Seiten 1409 bis 1416, verwiesen.

Sie kommen auch für elektrochemische Prozesse in Betracht, wobei die Zylinder als Elektroden fungieren. Hierzu sei auf die Artikel von S. Cohen und D. M. Maron in Chemical Engineering Journal, Band 27, Heft 2, 1983, Seiten 87 bis 97, sowie von Couret und Legrand in Electrochimia Acta, Band 26, Heft 7, 1981, 5 Seiten 865 bis 872, und Band 28, Heft 5, 1983, Seiten 611 bis 617, verwiesen.

Es ist auch bekannt, die Taylorreaktoren als photochemische Reaktoren, bei denen sich die Lichtquelle im Innenzylinder befindet, zu verwenden (vgl. hierzu die Artikel von Szechowski in Chemical Engineering Science, Band 50, Heft 20, 10 1995, Seiten 3163 bis 3173, von Haim und Pismen in Chemical Engineering Science, Band 49, Heft 8, Seiten 1119 bis 1129, und von Karpel Vel Leitner in Water Science and Technology, Band 35, Heft 4, 1997, Seiten 215 bis 222).

Auch ihre Verwendung als Bioreaktoren (vgl. hierzu den Artikel von Huang und 15 Liu in Water Science and Technology, Band 28, Heft 7, 1994, Seiten 153 bis 158) oder als Flockungsreaktoren zur Abwässerreinigung (vgl. hierzu den Artikel von Grohmann in BMFT-FB-T 85-070, 1985) ist beschrieben worden.

Bei all diesen bekannten Stoffumwandlungen in Taylorreaktoren ändert sich die 20 Viskosität ν des Fluids gar nicht oder nur unwesentlich. Dadurch bleiben bei streng zylinderförmiger Geometrie des Innen- und Außenzylinders des Taylorreaktors die Bedingungen für die Taylor-Wirbelströmung auf der gesamten Länge des Ringspalts, d. h. des gesamten Reaktorvolumens, erhalten.

25 Sollen indes die bekannten Taylorreaktoren für Stoffumwandlungen verwendet werden, bei denen sich die Viskosität ν des Fluids mit fortschreitender Umwandlung in axialer Durchflußrichtung stark ändert, verschwinden die Taylor-Wirbel oder bleiben ganz aus. Im Ringspalt ist dann noch die Couette-Strömung, eine konzentrische, laminare Schichtenströmung, zu beobachten. Hier kommt es 30 zu einer unerwünschten Veränderung der Durchmischungs- und Strömungsverhältnisse im Taylorreaktor. Er weißt in diesem Betriebszustand

Strömungscharakteristika auf, die denen des laminar durchströmten Rohres vergleichbar sind, was ein erheblicher Nachteil ist. So kommt es beispielsweise bei der Polymerisation in Masse oder in Lösung zu einer unerwünscht breiten Molmassenverteilung und chemischen Uneinheitlichkeit der Polymerisate.

- 5 Außerdem können aufgrund der schlechten Reaktionsführung erhebliche Mengen an Restmonomeren resultieren, welche dann aus dem Taylorreaktor ausgetragen werden müssen. Es kann aber auch zur Koagulation und Ablagerung von Polymerisaten kommen, was u. U. sogar zum Verstopfen des Reaktors oder des Produktauslasses führen kann. Unerwünschte technische Effekte dieser oder
- 10 ähnlicher Art treten auch bei dem thermischen Abbau hochmolekularer Stoffe wie Polymerisate u.a. auf. Insgesamt können nicht mehr die gewünschten Produkte, wie etwa Polymerisate mit sehr enger Molmassenverteilung, erhalten werden, sondern nur noch solche, die in ihrem Eigenschaftsprofil den Anforderungen nicht entsprechen.

- 15 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen neuen Taylorreaktor vorzuschlagen, welcher die Nachteile des Standes der Technik nicht mehr länger aufweist, sondern es ermöglicht, die Umwandlung von Stoffen selbst dann einfach, elegant, problemlos und in hohen Ausbeuten durchzuführen, wenn sie
- 20 von einer starken Änderung der Viskosität ν des Reaktionsmediums, begleitet ist.

- Außerdem ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein neues Verfahren zur Stoffumwandlung unter den Bedingungen der Taylor-Wirbelströmung zu finden, bei dem sich die Viskosität ν des Fluids im Ringspalt, d. h. des
- 25 Reaktionsmediums, stark ändert.

Demgemäß wurde der neue Taylorreaktor zur Durchführung von Stoffumwandlungen gefunden mit

- 30 a) einer äußeren Reaktorwand (1) und einem hierin befindlichen konzentrisch oder exzentrisch angeordneten Rotor (2), einem

Reaktorboden (3) und einem Reaktordeckel (4), welche zusammen das ringspaltförmige Reaktorvolumen (5) definieren,

b) mindestens einer Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten sowie

5 c) einer Vorrichtung (7) für den Produktablauf,

wobei

10 d) bei der Stoffumwandlung eine Änderung der Viskosität ν des Reaktionsmediums eintritt und

e) die Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet ist oder sind, daß auf im wesentlichen der gesamten Reaktorlänge im Reaktorvolumen (5) die Bedingungen für die Taylor-Wirbelströmung erfüllt sind.

15

Im folgenden wird der neue Taylorreaktor zur Durchführung der Stoffumwandlungen der Kürze halber als "erfindungsgemäßer Taylorreaktor" bezeichnet. Dementsprechend wird das neue Verfahren zu Umwandlung von Stoffen unter den Bedingungen der Taylor-Wirbelströmung als

20 "erfindungsgemäßes Verfahren" bezeichnet.

Im Hinblick auf den Stand der Technik war überraschend und für den Fachmann nicht vorhersehbar, daß es möglich ist, durch die geometrische Gestaltung der Reaktorwand (1) und/oder des Rotors (2) bei axialem Durchfluß des

25 Reaktionsmediums durch den Taylorreaktor selbst dann auf der gesamten Reaktorlänge die Bedingungen der Taylor-Wirbelströmung beizubehalten, wenn sich die Viskosität ν des Reaktionsmediums bei seiner Passage durch den Ringspalt stark ändert.

30 Bei der Änderung der Viskosität ν des Reaktionsmediums kann es sich erfindungsgemäß um einen Anstieg oder einen Abfall handeln. Beide Änderungen

können im Einzelfall mehrere Zehnerpotenzen betragen. Ein solch hoher Anstieg der Viskosität v tritt beispielsweise bei der Polymerisation in Masse oder in Lösung ein. Umgekehrt resultiert ein solch hoher Abfall der Viskosität v bei der Depolymerisation. Doch selbst unter diesen verfahrenstechnisch besonders anspruchsvollen Bedingungen bleibt im erfindungsgemäßen Taylorreaktor die
5 Taylor-Wirbelströmung erhalten.

Bei dem erfindungsgemäßen Taylorreaktor ist die äußere Reaktorwand (1) stationär, wogegen der Rotor (2) sich dreht. In einer weiteren Varianten rotieren
10 die äußere Reaktorwand (1) und der Rotor (2) in die gleiche Richtung, wobei die Winkelgeschwindigkeit des Rotors (2) größer ist als die Winkelgeschwindigkeit der äußeren Reaktorwand (1). In einer weiteren Variante rotieren die äußere Reaktorwand (1) und der Rotor (2) in entgegengesetzter Richtung. Demnach handelt es sich bei der Variante mit der stationären äußeren Reaktorwand (1) um
15 einen Sonderfall der zweiten und dritten Variante, welche indes aufgrund des einfachen Aufbaus und der erheblich einfacheren verfahrenstechnischen Kontrolle bevorzugt ist.

Die äußere Reaktorwand (1) und der Rotor (2) weisen über die gesamte
20 Reaktorlänge hinweg - im Querschnitt gesehen - einen im wesentlichen kreisförmigen Umfang auf. Im Sinne der vorliegenden Erfindung ist unter dem Begriff "im wesentlichen kreisförmig" streng kreisförmig, oval, elliptisch oder dreieckig, rechteckig, quadratisch, fünfeckig, sechseckig oder mehreckig mit abgerundeten Ecken zu verstehen. Aus Gründen der einfacheren Herstellbarkeit,
25 des einfachen Aufbaus und der bedeutend einfacheren Aufrechterhaltung konstanter Bedingungen über die gesamte Reaktorlänge hinweg ist ein streng kreisförmiger Umfang von Vorteil.

Erfindungsgemäß ist die Innenwand der äußeren Reaktorwand (1) und/oder die
30 Oberfläche des Rotors (2) glatt oder rauh, d. h., die betreffenden Flächen haben eine geringe oder hohe Oberflächenrauigkeit. Zusätzlich oder alternativ hierzu

weist die Innenwand der äußeren Reaktorwand (1) und/oder die Oberfläche des Rotors (2) ein reliefartiges radiales und/oder axiales, vorzugsweise radiales, Oberflächenprofil auf. Ist ein radiales Oberflächenprofil vorhanden, ist es vorteilhafterweise in etwa oder genau so dimensioniert wie die Taylor-
5 Wirbelringe.

Erfindungsgemäß ist es von bevorzugt, wenn die Innenwand der äußeren Reaktorwand (1) und die Oberfläche des Rotors (2) glatt sind, um tote Winkel, in denen sich Gasblasen oder Edukte und Produkte absetzen könnten, zu vermeiden.

10 Der erfindungsgemäße Taylorreaktor ist - in Längsrichtung gesehen - vertikal, horizontal oder in einer Lage zwischen diesen beiden Richtungen gelagert. Erfindungsgemäß von Vorteil ist die vertikale Lagerung. Wenn der erfindungsgemäße Taylorreaktor nicht horizontal gelagert ist, kann ihn das
15 Reaktionsmediums entgegen der Schwerkraft von unten nach oben oder mit der Schwerkraft von oben nach unten durchströmen. Erfindungsgemäß ist es von Vorteil, wenn das Reaktionsmedium entgegen der Schwerkraft bewegt wird.

Der Rotor (2) des erfindungsgemäßen Taylorreaktors ist zentrisch oder
20 exzentrisch gelagert. D. h., seine Längsachse stimmt mit der Längsachse der äußeren Reaktorwand (1) überein (zentrisch) oder nicht (exzentrisch). In letzterem Fall kann die Längsachse des Rotors (2) parallel zur Längsachse der äußeren Reaktorwand (1) liegen oder hiergegen in einem spitzen Winkel geneigt sein. Erfindungsgemäß ist es von Vorteil, wenn der Rotor (2) zentrisch gelagert ist.

25 Der erfindungsgemäße Taylorreaktor enthält als weitere wesentlichen Bestandteile einen Reaktorboden (3) und einen Reaktordeckel (4), welche zusammen mit der äußeren Reaktorwand (1) und dem Rotor (2) das ringspaltförmige Reaktorvolumen (5) definieren und es druck- und gasdicht nach außen
30 abschließen. Geeignete Reaktorböden (3) und Reaktordeckel (4) sind üblich und

bekannt; beispielhaft sei auf die Patentschriften DE-B-1 071 241 und EP-A-0 498 583 verwiesen.

Desweiteren enthält der erfindungsgemäße Taylorreaktor als weiteren
5 wesentlichen Bestandteil mindestens eine übliche und bekannte Vorrichtung (6)
zur Zudosierung von Edukten. Ein Beispiel einer geeigneten Vorrichtung (6) ist
eine Düse mit geeignetem Querschnitt. Die Vorrichtung (6) kann in den
Reaktorboden (3), den Reaktordeckel (4), die äußere Reaktorwand (1) oder den
Rotor (2) eingelassen sein. Darüber hinaus kann der erfindungsgemäße
10 Taylorreaktor noch mindestens eine weitere Vorrichtung (6) enthalten, welche in
gleicher Höhe wie die erste oder in Durchflußrichtung versetzt von dieser
angeordnet ist. Eine solche weitere Vorrichtung (6) ist insbesondere dann von
Vorteil, wenn Edukte und/oder Katalysatoren nachdosiert werden sollen.
Üblicherweise sind die Vorrichtungen (6) über geeignete Zuleitungen mit
15 Dosierpumpen, Vorratsgefäßen u.a. verbunden.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des erfindungsgemäßen Taylorreaktors bis
die Vorrichtung (7) für den Ablauf der Produkte. Je nach dem ist die Vorrichtung
(7) in den Reaktorboden (3), die äußere Reaktorwand (1) oder in den
20 Reaktordeckel (4) eingelassen. Auch sie ist üblicherweise über geeignete
Zuleitungen mit Dosierpumpen, Vorratsgefäßen u.a. verbunden. Erfindungsgemäß
ist es von besonderem Vorteil, die Vorrichtung (7) am oberen Ende des
erfindungsgemäßen Taylorreaktors anzubringen, wobei die höchste Stelle
besonders bevorzugt ist, weil bei dieser Konfiguration die Bildung einer Gasphase
25 vermieden wird. Dies ist insbesondere dann notwendig, wenn die Gefahr der
Bildung explosionsfähiger Gemische oder der Abscheidung von Feststoffen wie
Polymerisaten aus der Gasphase besteht.

Die Bestandteile des erfindungsgemäßen Taylorreaktors, insbesondere äußere
30 Reaktorwand (1), der Rotor (2), der Reaktorboden (3), der Reaktordeckel (4), die
Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten sowie die Vorrichtung (7) für den

Produktablauf, können aus den unterschiedlichsten geeigneten Materialien bestehen. Beispiel geeigneter Materialien sind Kunststoff, Glas oder Metalle wie Edelstahl, Nickel oder Kupfer. Hierbei können die einzelnen Bestandteile aus jeweils unterschiedlichen Materialien hergestellt sein. Die Auswahl der

5 Materialien richtet sich nach dem Verwendungszweck des erfindungsgemäßen Taylorreaktors und nach den einzelnen Reaktionsbedingungen und kann deshalb vom Fachmann in einfacher Weise vorgenommen werden. Soll beispielsweise der erfindungsgemäße Taylorreaktor als Photoreaktor verwendet werden, kann der Rotor (2) aus Glas bestehen, welches für aktinisches Licht durchlässig ist. Wenn

10 bei den Stoffumwandlungen die Taylor-Wirbelringe und ihre axiale Bewegung visuell überwacht werden sollen, ist es erfindungsgemäß von Vorteil, die äußere Reaktorwand (1) aus Glas oder transparentem Kunststoff anzufertigen. Erfindungsgemäße Taylorreaktoren dieser Art eignen sich auch hervorragend für die Durchführung von Vorversuchen. Ansonsten ist es erfindungsgemäß von

15 Vorteil, Edelstahl zu verwenden.

Der Rotor (2) ist in üblicher und bekannter Weise beispielsweise über eine Magnetkupplung mit einem stufenlos regelbaren Antrieb verbunden.

20 Außer den vorstehend in Detail beschriebenen wesentlichen Bestandteilen kann der erfindungsgemäße Taylorreaktor noch übliche und bekannte Vorrichtung enthalten, welche dem Heizen und/oder Kühlen oder dem Messen von Druck, Temperatur, Stoffkonzentrationen, Viskosität und anderen physikalisch chemischen Größen dienen, sowie mit üblichen und bekannten mechanischen,

25 hydraulischen und/oder elektronischen Meß- und Regelvorrichtungen verbunden sein.

Alle diese Bestandteile des erfindungsgemäßen Taylorreaktors sind so miteinander verbunden, daß das Reaktionsmedium druck- und gasdicht

30 eingeschlossen und in geeigneter Weise temperiert wird. Vorteilhafterweise

erfolgt die Temperierung in einer oder in mehreren Temperaturzonen, die im Gleich- oder im Gegenstrom betrieben werden.

5 Wird der erfindungsgemäße Taylorreaktor für das erfindungsgemäße Verfahren verwendet, bei welchem die Viskosität v des Reaktionsmediums in Durchflußrichtung stark ansteigt, werden die äußere Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet, daß sich der Ringspalt in Durchflußrichtung verbreitert.

10 Erfindungsgemäß kann sich hierbei der Ringspalt - im Längsschnitt durch den erfindungsgemäßen Taylorreaktor gesehen - nach beliebigen geeigneten mathematischen Funktionen kontinuierlich oder diskontinuierlich verbreitern. Das Ausmaß der Verbreiterung richtet sich nach dem erwarteten Anstieg der Viskosität des Reaktionsmediums in Durchflußrichtung und kann vom Fachmann
15 anhand der Taylorformel abgeschätzt und/oder anhand einfacher Vorversuche ermittelt werden.

Beispiele geeigneter mathematischer Funktionen, nach denen sich - im Längsschnitt durch den erfindungsgemäßen Taylorreaktor gesehen - der Umfang
20 der äußeren Reaktorwand (1) und/oder des Rotors (2) erhöht oder erhöhen, sind Geraden, mindestens zwei Geraden, die unter einem stumpfen Winkel aufeinander stoßen, Hyperbeln, Parabeln, e-Funktionen oder Kombinationen dieser Funktionen, welche kontinuierlich oder diskontinuierlich ineinander übergehen.

25 Zum einen kann die Verbreiterung dadurch erreicht werden, daß sich der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) in Durchflußrichtung gesehen erhöht, wobei der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt, sich ebenfalls erhöht oder sich verringert. Zum anderen kann dies erreicht werden, indem der Durchmesser der äußeren Reaktorwand (1) konstant gehalten wird, wogegen sich der Umfang des Rotors (2)
30 verringert. Im Hinblick darauf, daß bei der Verringerung des Umfangs des Rotors (2) die Fläche zur Übertragung der Reibungskräfte immer geringer wird und sich

der Rotor (2) deshalb immer schneller drehen müßte, wird den erfindungsgemäßen Varianten der Vorzug gegeben, bei denen der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt oder sich ebenfalls erhöht.

- 5 Vorteilhafte erfindungsgemäße Taylorreaktoren weisen eine konische äußere Reaktorwand (1) auf, die demnach die Form eines einzelnen Kegelstumpfs hat oder aus mehreren Kegelstümpfen zusammengesetzt ist. Der Kegelstumpf oder die Kegelstümpfe kann oder können dabei kissenförmig oder tonnenförmig verzerrt sein. Indes werden unverzernte Kegelstümpfe besonders bevorzugt.

- 10 Vorteilhafte erfindungsgemäße Taylorreaktoren weisen außerdem einen konischen oder zylinderförmigen Rotor (2) auf. Hinsichtlich der Form des konischen Rotors (2) gilt das im vorstehenden Absatz Gesagte sinngemäß. Desgleichen kann der zylinderförmige Rotor (2) kissenförmig oder tonnenförmig
15 verzerrt sein. Erfindungsgemäß werden unverzernte zylinderförmige Rotoren (2) besonders bevorzugt verwendet.

- Wird der erfindungsgemäße Taylorreaktor für das erfindungsgemäße Verfahren verwendet, bei welchem die Viskosität ν des Reaktionsmediums in
20 Durchflußrichtung stark abfällt, werden die äußere Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet, daß sich der Ringspalt in Durchflußrichtung verengt.

- Erfindungsgemäß kann sich hierbei der Ringspalt - im Längsschnitt durch den
25 erfindungsgemäßen Taylorreaktor gesehen - nach beliebigen geeigneten mathematischen Funktionen kontinuierlich oder diskontinuierlich verengen. Das Ausmaß der Verengung richtet sich nach dem erwarteten Abfall der Viskosität des Reaktionsmediums in Durchflußrichtung und kann vom Fachmann anhand der Taylorformel (I) abgeschätzt und/oder anhand einfacher Vorversuche ermittelt
30 werden.

Beispiele geeigneter mathematischer Funktionen, nach denen sich - im Längsschnitt durch den erfindungsgemäßen Taylorreaktor gesehen - der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) und/oder des Rotors (2) verringert oder verringern, sind Geraden, mindestens zwei Geraden, die unter einem stumpfen Winkel aufeinander stoßen, Hyperbeln, Parabeln, e-Funktionen oder Kombinationen dieser Funktionen, welche kontinuierlich oder diskontinuierlich ineinander übergehen.

Zum einen kann die Verengung dadurch erreicht werden, daß sich der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) in Durchflußrichtung gesehen verringert, wobei der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt, sich erhöht oder sich ebenfalls verringert. Zum anderen kann dies erreicht werden, indem der Durchmesser der äußeren Reaktorwand (1) konstant gehalten wird, wogegen sich der Umfang des Rotors (2) erhöht. Im Hinblick darauf, daß bei der Verringerung des Umfangs des Rotors (2) die Fläche zur Übertragung der Reibungskräfte immer geringer wird und sich der Rotor (2) deshalb immer schneller drehen müßte, wird den erfindungsgemäßen Varianten der Vorzug gegeben, bei denen der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt oder sich ebenfalls erhöht.

Vorteilhafte erfindungsgemäße Taylorreaktoren weisen auch hier eine konische äußere Reaktorwand (1) auf, die demnach die Form eines einzelnen Kegelstumpfs hat oder aus mehreren Kegelstümpfen zusammengesetzt ist. Der Kegelstumpf oder die Kegelstümpfe kann oder können dabei kissenförmig oder tonnenförmig verzerrt sein. Indes werden unverzernte Kegelstümpfe besonders bevorzugt.

Vorteilhafte erfindungsgemäße Taylorreaktor weisen außerdem einen konischen oder zylinderförmigen Rotor (2) auf. Hinsichtlich der Form des konischen Rotors (2) gilt das im vorstehenden Absatz Gesagte sinngemäß. Desgleichen kann der zylinderförmige Rotor (2) kissenförmig oder tonnenförmig verzerrt sein. Erfindungsgemäß werden unverzernte zylinderförmige Rotoren (2) besonders bevorzugt verwendet.

Der erfindungsgemäße Taylorreaktor ist vorzüglich für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet. Das erfindungsgemäße Verfahren kann kontinuierlich oder diskontinuierlich betrieben werden; seine besonderen Vorteile werden indes beim kontinuierlichen Betrieb offenbar.

Zu seiner Durchführung wird das Edukt oder werden die Edukte über mindestens eine Vorrichtung (6) dem ringspaltförmigen Reaktorvolumen (5) kontinuierlich zudosiert. Die resultierenden Produkte werden kontinuierlich über die Vorrichtung (7) aus dem erfindungsgemäßen Taylorreaktor abgeführt und in geeigneter Weise aufgearbeitet.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die Verweilzeit im Reaktor zwischen 0,5 Minuten und 5 Stunden, vorzugsweise 2 Minuten und 3 Stunden, besonders bevorzugt 10 Minuten und 2 Stunden und insbesondere 15 Minuten und 1,5 Stunden. Die für die jeweilige Stoffumwandlung geeignete Verweilzeit kann der Fachmann anhand einfacher Vorversuche ermitteln oder anhand von kinetischen Daten abschätzen.

Der Druck im ringspaltförmigen Reaktionsvolumen (5) liegt bei 0 bis 200 bar, weswegen das erfindungsgemäße Verfahren auch mit verflüssigten oder überkritischen Gasen, wie überkritisches Kohlendioxid ausgeführt werden kann. Vorzugsweise liegt der Druck bei 0,5 bis 100, insbesondere 0,5 bis 50 bar. Wird das erfindungsgemäße Verfahren bei höherem Druck durchgeführt, ist der erfindungsgemäße Taylorreaktor mit Zuleitungen und Ableitungen druckdicht auszulegen, um den Sicherheitsvorschriften genüge tun.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird bei Temperaturen zwischen -100 und 500 °C durchgeführt. Zu diesem Zweck wird der erfindungsgemäße Taylorreaktor mit geeigneten üblichen und bekannten Kühl- und/oder Heizvorrichtungen ausgerüstet. Vorzugsweise liegen die Reaktionstemperaturen zwischen -10 und

300 °C, insbesondere 50 und 250 °C. Die für die jeweilige Stoffumwandlung geeignete Temperatur kann der Fachmann anhand einfacher Vorversuche ermitteln oder anhand bekannter thermodynamischer Daten abschätzen.

- 5 Vorteilhafterweise liegt die Taylorzahl Ta des Reaktionsmediums oder des Fluids bei 1 bis 10000, vorzugsweise 5 bis 5000 und insbesondere 10 bis 2500. Hierbei soll Reynoldszahl, die durch die nachfolgende Gleichung (II) definiert ist, bei 1 bis 10000 betragen.

10 $Re = vd/v$ (II)

mit v = axiale Geschwindigkeit und

mit $d = r_a - r_i$ (r_i = äußerer Radius des Innenzylinders; r_a = innerer Radius des Außenzylinders und d = Spaltbreite).

15

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ändert sich die Viskosität v des Reaktionsmediums. Hierbei kann die Viskosität v steigen oder sinken. Die Änderung kann mehrere Zehnerpotenzen betragen, ohne daß dies die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens stört. Es ist lediglich dafür

- 20 Sorge zu tragen, daß sich der Ringspalt des erfindungsgemäßen Taylorreaktors in der Weise verbreitert oder verengt, wie es der Änderung der Viskosität im Verlauf der Stoffumwandlungen entspricht, so daß die Taylor-Wirbelströmung im gesamten Reaktor erhalten bleibt. Den Verlauf der Viskositätsänderung kann der Fachmann anhand einfacher Vorversuche ermitteln.

25

Ein ganz besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Taylorreaktors und des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, das örtliche Nacheinander im Taylorreaktor mit dem zeitlichen Nacheinander von diskontinuierlichen oder halbkontinuierlichen (Dosier-) Prozessen zu verknüpfen. Der erfindungsgemäße

30 Taylorreaktor und das erfindungsgemäße Verfahren bieten somit den Vorteil eines kontinuierlichen quasi "einstufigen" Prozesses, so daß in dem zuerst

durchströmten Teilstück des Taylorreaktors eine erste Reaktion ablaufen kann und in einem – in axialer Durchflußrichtung gesehen - zweiten oder weiteren Teilstück nach einer weiteren Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten und/oder Katalysatoren eine zweite, dritte, etc. Reaktion.

5

Beispiele für Stoffumwandlungen, auf die das erfindungsgemäße Verfahren mit besonderem Vorteil angewandt werden kann, sind insbesondere der Aufbau oder Abbau niedermolekularer und hochmolekularer Stoffe, wie z.B. die Polymerisation von Monomeren in Masse, Lösung, Emulsion oder Suspension oder durch Fällungspolymerisation einerseits und die Depolymerisation der hierbei resultierenden Polymerisate oder anderer hochmolekularer Stoffe andererseits. Im Rahmen der vorliegenden Erfindungen ist unter dem Begriff "Polymerisation" auch die Copolymerisation und die Blockmischpolymerisation sowie die Polykondensation und die Polyaddition zu verstehen.

10

Weitere Beispiele für solche Stoffumwandlungen sind

- polymeranaloge Reaktionen, wie die Veresterung, Amidierung oder Urethanisierung von Polymeren, welche Seitengruppen enthalten, die für solche Reaktionen geeignet sind,
- die Herstellung olefinisch ungesättigter, mit Elektronenstrahlen oder ultraviolettem Licht härtbaren Materialien,
- die Herstellung von Polyurethanharzen und modifizierten Polyurethanharzen wie acrylierten Polyurethanen,
- die Herstellung von (Poly) Harnstoffen oder modifizierten (Poly) Harnstoffen,
- der Molekulargewichtsaufbau von Verbindungen, welche mit Isocyanatgruppen terminiert sind,
- oder Reaktionen, welche zur Bildung von Mesophasen führen, wie sie beispielsweise von Antonietti und Göltner in dem Artikel "Überstruktur funktioneller Kolloide: eine Chemie im Nanometerbereich " in

20

25

30

Angewandte Chemie, Band 109, 1997, Seiten 944 bis 964, oder von Ober und Wengner in dem Artikel "Polyelectrolyte-Surfactant Complexes in the Solid State: Facile Building Blocks for Self-Organizing Materials" in Advanced Materials, Band 9, Heft 1, 1997, Seiten 17 bis 31, beschrieben werden.

5

Mit ganz besonderem Vorteil wird das erfindungsgemäße Verfahren für die Polymerisation von olefinisch ungesättigten Monomeren angewandt, weil hierbei die besonderen Vorteile des erfindungsgemäßen Taylorreaktors und es
10 erfindungsgemäßen Verfahrens besonders offen zu Tage treten.

So wird das erfindungsgemäßen Verfahren besonders bevorzugt für die Herstellung von chemisch einheitlich zusammengesetzten Copolymerisaten verwendet. Hierbei wird das schneller polymerisierende Comonomere oder
15 werden die schneller polymerisierenden Comonomeren über in axialer Richtung hintereinander angeordnete Vorrichtungen (6) zudosiert, so daß das Comonomerenverhältnis über die gesamte Länge des Reaktors hinweg konstant gehalten wird.

20 Auch für die Pfropfmischpolymerisation wird das erfindungsgemäßen Verfahren besonders bevorzugt verwendet. Hierbei wird in dem ersten Teilstück des erfindungsgemäßen Taylorreaktors das sogenannte Backbone-Polymerisat hergestellt, wonach über mindestens eine weitere, in axialer Richtung versetzte Vorrichtung (6) mindestens ein Comonomer, welches die Pfropfäste bildet,
25 zudosiert wird. Das Comonomer wird oder die Comonomeren werden dann in erfindungsgemäßer Verfahrensweise in mindestens einem weiteren Teilstück des erfindungsgemäßen Taylorreaktors auf das Backbone-Polymerisat aufgepfropft. Sofern mehrere Comonomere verwendet werden, können sie einzeln über jeweils eine Vorrichtung (6) oder als Gemisch durch eine oder mehrere Vorrichtungen (6)
30 zudosiert werden. Werden mindestens zwei Comonomere einzelnen und nacheinander durch mindestens zwei Vorrichtungen (6) zudosiert, gelingt sogar

die Herstellung von Pfropfästen, welche für sich selbst gesehen Blockmischpolymerisate sind, in besonders einfacher und eleganter Weise.

5 Selbstverständlich kann dieses vorstehend beschriebene Konzept auch der Herstellung von Blockmischpolymerisaten als solchen dienen.

10 In analoger Weise kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens die Herstellung von Kern-Schale-Latices besonders einfach und elegant verwirklicht werden. So wird zunächst im ersten Teilstück des erfindungsgemäßen Taylorreaktors der Kern durch Polymerisation mindestens eines Monomeren hergestellt. Über mindestens eine weitere Vorrichtung (6) wird mindestens ein weiteres Comonomer zudosiert und die Schale in mindestens einem weiteren Teilstück auf den Kern aufpolymerisiert. In dieser Weise können mehrere Schalen auf den Kern aufgebracht werden.

15 Auch die Herstellung von Polymerdispersionen kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgen. Beispielsweise wird mindestens ein Monomer in homogener Phase, insbesondere in Lösung, in einem ersten Teilstück des erfindungsgemäßen Taylorreaktors (co)polymerisiert, wonach über 20 mindestens eine weitere Vorrichtung (6) ein Fällungsmittel zudosiert wird, wodurch die Polymerdispersionen resultiert.

Bei allen Anwendungen weist der erfindungsgemäße Taylorreaktor den besonderen Vorteil einer großen spezifischen Kühlfläche auf, die eine besonders 25 sichere Reaktionsführung gestattet.

Beispiele geeigneter Monomeren, welche für das erfindungsgemäße Verfahren in Betracht kommen, sind acyclische und cyclische, gegebenenfalls funktionalisierte Monoolefine und Diolefine, vinylaromatische Verbindungen, Vinylether, 30 Vinylester, Vinylamide, Vinylhalogenide, Allylether und Allylester, Acrylsäure,

und Methacrylsäure und deren Ester, Amide und Nitrile und Maleinsäure, Fumarsäure und Itaconsäure und deren Ester, Amide, Imide und Anhydride.

Beispiele geeigneter Monoolefine sind Ethylen, Propylen, 1-Buten, 1-Penten, 1-
5 Hexen, 1-Hepten, 1-Octen, Cyclobuten, Cyclopenten und Cyclohexen.

Beispiel geeigneter Diolefine sind Butadien, Isopren, Cyclopentadien und Cyclohexadien.

10 Beispiele geeigneter vinylaromatischer Verbindungen sind Styrol, alpha-Methylstyrol, 2-, 3- und 4-Chlor-, -Methyl-, -Ethyl-, -Propyl- und -Butyl- und tert.-Butylstyrol und -alpha-methylstyrol.

Ein Beispiel einer geeigneten Vinylverbindung bzw. eines funktionalisierten
15 Olefins ist Vinylcyclohexandiol.

Beispiele geeigneter Vinylether sind Methyl-, Ethyl-, Propyl-, Butyl- und Pentylvinylether, Allylmonopropoxylat sowie Trimethylolpropan-mono-, -di- und -triallylether.

20

Beispiel geeigneter Vinylester sind Vinylacetat und -propionat sowie die Vinylester der Versätsäure und anderer quartärer Säuren.

Beispiele geeigneter Vinylamide sind N-Methyl-, N,N-Dimethyl-, N-Ethyl-, N-
25 Propyl-, N-Butyl-, N-Amyl-, N-Cyclopentyl- und N- Cyclohexylvinylamid sowie N-Vinylpyrrolidon und -epsilon-caprolactam.

Beispiele geeigneter Vinylhalogenide sind Vinylfluorid und -chlorid.

30 Beispiele geeigneter Vinylidenhalogenide sind Vinylidenfluorid und chlorid.

Beispiele geeigneter Allylether sind Methyl-, Ethyl-, Propyl-, Butyl-, Pentyl-, Phenyl- und Glycidylmonoallylether.

Beispiele geeigneter Allylester sind Allylacetat und -propionat.

- 5 Beispiele geeigneter Ester der Acrylsäure und Methacrylsäure sind Methyl-, Ethyl-, Propyl-, n-Butyl-, Isobutyl-, n-Pentyl-, n-Hexyl-, 2-Ethyl-hexyl-, Isodecyl-, Decyl-, Cyclohexyl-, t-Butylcyclohexyl-, Norbonyl-, Isobornyl-, 2- und 3-Hydroxypropyl-, 4-Hydroxybutyl-, Trimethylolpropanmono-,
10 Pentaerythritmono- und Glycidyl(meth)acrylat. Außerdem kommen noch die Di-, Tri- und Tetra-(meth)acrylate von Ethylenglykol, Di-, Tri- und Tetraethylenglykol, Propylenglykol, Dipropylenglykol, Butylenglykol, Dibutylenglykol, Glycerin, Trimethylolpropan und Pentaerythrit in Betracht.
15 Allerdings werden sie nicht alleine, sondern immer in untergeordneten Mengen gemeinsam mit den monofunktionellen Monomeren verwendet.

Beispiele geeigneter Amide der Acrylsäure Methacrylsäure sind (Meth)Acrylsäureamid sowie (Meth)Acrylsäure-N-methyl-, -N,N-dimethyl-, -N-ethyl-, -N-propyl-, -N-butyl-, -N-amyl-, -N-cyclopentyl- und -N-cyclohexylamid.

- 20 Beispiele geeigneter Nitrile sind Acrylnitril und Methacrylnitril.

- Beispiele geeigneter Ester, Amide, Imide und Anhydride der Maleinsäure, Fumarsäure und Itaconsäure sind Maleinsäure-, Fumarsäure- und
25 Itaconsäuredimethyl-, -diethyl-, -dipropyl- und -dibutylester, Maleinsäure-, Fumarsäure- und Itaconsäurediamid, Maleinsäure-, Fumarsäure- und Itaconsäure-N,N'-dimethyl-, -N,N,N',N'-tetamethyl-, -N,N'-diethyl-, -N,N'-dipropyl-, -N,N'-dibutyl-, -N,N'-diamyl-, -N,N'-dicyclopentyl- und -N,N'-dicyclohexyldiamid,
Maleinsäure-, Fumarsäure- und Itaconsäureimid und Maleinsäure-, Fumarsäure-
30 und Itaconsäure-N-methyl-, -N-ethyl-, -N-propyl-, -N-butyl-, -N-amyl-, -N-

cyclopentyl- und -N-cyclohexylimid sowie Maleinsäure -, Fumarsäure- und Itaconsäureanhydrid.

Die vorstehend beschriebenen Monomeren können radikalisch, kationisch oder anionisch polymerisiert werden. Vorteilhafterweise werden sie radikalisch polymerisiert. Hierzu können die üblichen und bekannten anorganischen Radikalstarter wie Wasserstoffperoxid oder Kaliumperoxodisulfat oder die üblichen und bekannten organischen Radikalstarter wie Dialkylperoxide, z.B. Di-tert.-Butylperoxid, Di-tert.-amylperoxid und Dicumylperoxid; Hydroperoxide, z.B. Cumolhydroperoxid und tert.-Butylhydroperoxid; Perester, z.B. tert.-Butylperbenzoat, tert.-Butylperpivalat, tert.-Butylper-3,5,5-trimethylhexanoat und tert.-Butylper-2-ethylhexanoat; Bisazoverbindungen wie Azobisisobutyronitril; oder C-C-Starter wie 2,3-Dimethyl-2,3-diphenyl-butan oder -hexan verwendet werden. Es kommt indes auch Styrol in Betracht, das Polymerisation auch ohne Radikalstarter thermisch initiiert.

Die in erfindungsgemäßer Verfahrensweise hergestellten Polymerisate weisen besondere Vorteile auf und eignen sich deshalb hervorragend für alle Anwendungszwecke, wie sie üblicherweise für solche hochmolekularen Stoffe vorgesehen sind, wie beispielsweise die Herstellung von Formteilen. Vor allem aber kommen sie als Komponenten für Lacke, Klebstoffe und andere Beschichtungsstoffe sowie Folien in Betracht. Hierbei werden sie insbesondere als Bindemittel verwendet, weil die Lacke, die Klebstoffe und die sonstigen Beschichtungsstoffe sowie die Folien, welche die in erfindungsgemäßer Verfahrensweise hergestellten Bindemittel enthalten oder hieraus bestehen, besonders vorzügliche anwendungstechnische Eigenschaften aufweisen.

Die besonderen Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens werden vor allem anhand der Lacke offenbar, welche die in erfindungsgemäßer Verfahrensweise hergestellten Bindemittel enthalten. Diese Lacke sind je nach ihrer Zusammensetzung physikalisch trocknend oder werden thermisch, mit

aktinischem Licht, insbesondere UV-Licht, oder durch Elektronenstrahlung gehärtet.

Sie liegen als Pulverlacke, Pulver-Slurry-Lacke, in organischen Medien gelöste
5 Lacke oder wäßrige Lacke vor. Hierbei können sie Farb- und/oder Effektpigmente
enthalten. Sie werden als Bautenanstrichmittel für den Innen- und Außenbereich,
als Lacke für Möbel, Fenster, Coils und andere industrielle Anwendungen, als
Automobillacke für die Erstausrüstung (OEM) oder als Autoreparaturlacke
verwendet. Bei ihrer Verwendung auf dem Automobilsektor kommen sie als
10 Elektrotauchlacke, Füller, Basislacke und Klarlacke in Betracht.

Bei all diesen Anwendungszwecken sind die Lacke, welche die in
erfindungsgemäßer Verfahrensweise hergestellten Bindemittel enthalten, den
herkömmlichen Lacken überlegen.

15

Die vorliegende Erfindung wird anhand der Zeichnung (Fig. 1) und des Beispiels
näher erläutert.

Fig. 1 Längsschnitt durch einen erfindungsgemäßen Taylorreaktor mit konischer
20 äußerer Reaktorwand (1) zur visuellen Überwachung der Taylor-
Wirbelströmung

Beispiel 1

Die Kettenverlängerung von teilverseiftem Polyvinylacetat (Polyvinylalkohol) mit Glutardialdehyd mit Hilfe eines erfindungsgemäßen Taylorreaktors und des erfindungsgemäßen Verfahrens

Für die Kettenverlängerung von teilverseiftem Polyvinylacetat (Anteil an Hydroxylgruppen: 88 mol-%; Anteil an Acetatgruppen: 12 mol-%) wurde der erfindungsgemäße Taylorreaktor gemäß Fig. 1 verwendet.

Der Taylorreaktor wies eine 25 cm hohe äußere Reaktorwand (1) aus Glas von streng kreisförmigem Umfang auf, deren Umfang bzw. deren Durchmesser entlang der Reaktor-achse in Durchflußrichtung gesehen linear zunahm. So lag der minimale Durchmesser der äußeren Reaktorwand (1) am Reaktorboden (3) bei 52 mm, und der maximale Durchmesser am Reaktordeckel (4) lag bei 102 mm. Desweiteren enthielt der erfindungsgemäße Taylorreaktor einen geraden, zentrisch gelagerten, streng zylinderförmigen Rotor (2) aus Edelstahl mit einem Radius von 21 mm. Dadurch erhöhte sich die Spaltbreite d von 5 mm am unteren Ende des Taylorreaktors auf 30 mm am oberen Ende. Der Rotor (2) war über eine gerade Welle (2.1), welche abgedichtet durch den Reaktordeckel (4) hindurchführte, mit einem stufenlos regelbaren Rührmotor verbunden. Der Reaktordeckel (4) und der Reaktorboden (3) bestanden aus Edelstahl; die Dichtung zwischen ihnen und dem entsprechenden Ende der Reaktorwand (1) erfolgte mittels üblichen und bekannten Dichtungsringen aus Kunststoff. Die Vorrichtung (6) zur Zudosierung der Edukte und die Vorrichtung (7) für den Produktablauf waren Vorstöße aus Glas mit Gewinden, woran ein Zu- und ein Ableitungsschlauch mit Hilfe von Überwurfmuttern befestigt waren.

Der Taylorreaktor wurde kontinuierlich mit einer Mischung aus 4 Teilen Polyvinylalkohol, 96,16 Teilen Wasser und 0,16 Teilen Glutardialdehyd mit einem Volumenstrom von 33,3 ml/min über die Vorrichtung (6) gespeist.

Unmittelbar vor dem Eintritt in den Taylorreaktor wurde der Mischung 42 %-ige Salpetersäure über eine separate Pumpe mit einem Volumenstrom von 0,16 ml/min zudosiert. Die mittlere Verweilzeit in Taylorreaktor betrug 30 min bei einer Temperatur von 22 °C. Die Rührerdrehzahl lag bei 250 U/min. Die Viskosität des Eduktes betrug 10 mm²/s. An der Vorrichtung (7) hatte die Lösung des kettenverlängerten Polyvinylalkohols eine Viskosität von 47 mm²/s.

Die Stoffumwandlung, d. h. die Umsetzung, wurde in einer Gesamtzeit von 5h, entsprechend 10 mittleren Verweilzeiten, durchgeführt. Im gesamten Taylorreaktor blieben während dieser Zeit die Taylorwirbel und somit die gewünschten Durchmischungs- und Strömungsverhältnisse trotz des Viskositätsanstiegs erhalten. Die Umsetzung konnte daher während des gesamten Zeitraums störungsfrei durchgeführt werden.

15 Beispiel 2

Die Herstellung eines Lösungspolymerisats hergestellt in einem erfindungsgemäßen Taylorreaktor

20 In einem konischen 200 ml Taylorreaktor aus Edelstahl mit beheizbarem Doppelmantel wurde eine Mischung aus 15,8 Teilen Styrol, 16,5 Teilen MMA, 11,6 Teilen tert.-Butylcyclohexylacrylat, 24,7 Teilen Hydroxypropylmethacrylat, 22,3 Teilen Shellsol A, 7,4 Teilen Xylol, 0,3 Teilen Di-Tert.-Butylperoxid, 0,05
25 Pumpen zudosiert. Die Eduktzudosierung erfolgt am Reaktorboden, während das entstehende Polymer kontinuierlich am Reaktorausgang oben in der Reaktorwandung abgegriffen wurde. Die Reaktion wurde bei einer Temperatur von 160 °C und einer Rührerdrehzahl von 300 min⁻¹ durchgeführt. Die mittlere Verweilzeit des Reaktionsgemisches im Reaktor lag bei 30 min. Die entstehende
30 Polymerschmelze hatte einen Feststoffgehalt von 68,4 % (1 h, 130 °C) und eine Viskosität von 3.0 dPas 50 %ig in Butylacetat. Die Gelchromatographische

Vermessung des Polymeren liefert eine M_n von 3215 und ein M_w von 8081. Die Glasübergangstemperatur der Polymeren betrug 69°C , ermittelt mittels DSC aus dem DSC-Midpoint.

5 Beispiel 3

Die Herstellung eines Lacks unter Verwendung des Lösungspolymerisats gemäß Beispiel 2

- 10 3.1 Eine Härterlösung wurde aus nachfolgenden Komponenten durch Mischen hergestellt:

	Butylacetat 98 %	40,5 Teile
	Xylol	4,0 Teile
	Butylglykolacetat	6,0 Teile
15	Katalysatorlösung (gemäß Ziff. 3.3)	1,5 Teile
	Desmodur ^R Z4370 ¹⁾	15,0 Teile
	Desmodur ^R 3390 ²⁾	33,0 Teile
	Festkörper (Gew.-%)	42,2 Teile

20

- 3.2 Ein Einstellzusatz wurde aus nachfolgenden Komponenten durch Mischen hergestellt:

	Xylol	20,0 Teile
25	Solventhaphtha ^{R 3)}	15,0 Teile
	Benzin 135/180	10,0 Teile
	Butylglykolacetat	5,0 Teile
	Butylacetat 98 %	50,0 Teile

3.3 Eine Katalysatorlösung wurde durch Mischen von 1,0 Teilen

Dibutylzinndilaurat und 99 Teilen Butylacetat 98 %ig hergestellt¹

3.4 Eine Verlaufsmittellösung wurde durch Mischen von 5,0 Teilen eines

handelsüblichen Verlaufsmittels auf der Basis eines polyethermodifizierten

5 Methylpolysiloxans (Baysilone^R OL44⁴) und 95 Teilen Xylol hergestellt.

3.5 Ein Stammlack wurde durch Mischen der folgenden Komponenten hergestellt:

	Butylacetat	4,0 Teile
	Xylol	4,15 Teile
10	Tinuvin ^R 292 ⁵	0,95 Teile
	Sanduvon ^R VSU ⁶	1,20 Teile
	Katalysatorlösung (gemäß Ziff. 3.3)	3,7 Teile
	Verlaufsmittellösung (gemäß Ziff. 3.4)	2,0 Teile
15	Triisodecylphosphit	0,05 Teile
	Lösungspolymerisat (gemäß Bsp.2)	70,85 Teile
	Macrynal ^R SM513 ⁷	13,1 Teile

20 180 Teile des Stammlacks gemäß Ziff. 3.5 wurden mit 90 Teilen Härterlösung gemäß Ziff. 3.1 und 16,2 Teilen Einstellzusatz gemäß Ziff. 3.2 gemischt und appliziert. Der Lack wies eine ausgezeichnete Verarbeitbarkeit auf. Die Topfzeit betrug 4 h. Die Pendeldämpfung eines bei Raumtemperatur getrockneten 1 Woche alten Lackfilms lag bei 136 sec..

¹ Handelsübliches Polyisocyanat der Fa. Bayer AG auf Basis von Isophorondiisocyanat mit einem Festkörpergehalt von 70 %.

² Handelsübliches Polyisocyanat der Fa. Bayer AG auf Basis von Hexamethylendiisocyanat.

³ Handelsübliches aromatisches Kohlenwasserstoffgemisch der Fa. Shell GmbH

⁴ Handelsübliches Verlaufsmittel der Fa. Bayer AG

⁵ Handelsübliches Lichtschutzmittel der Fa. Ciba Geigy auf Basis eines sterisch gehinderten Amins (HALS)

⁶ Handelsübliches Lichtschutzmittel der Fa. Sandoz

⁷ Hydroxylgruppenhaltiges Acrylatharz der Fa. Bayer AG

Der erhaltene Klarlack wurde auf einem konventionellen Basislack der Marke Glasurit Reihe 55 lackiert. Die durch Trocknung bei 60 °C über 30 min. erhaltenen Beschichtungen wiesen einen Glanz nach DIN 7530 von 87 ° - gemessen unter einem 20° Winkel - auf. Die Beschichtungen hatten einen guten

5 Decklackstand.

Patentansprüche

1. Taylorreaktor zur Durchführung von Stoffumwandlungen mit

- 5 a) einer äußeren Reaktorwand (1) und einem hierin befindlichen konzentrisch oder exzentrisch angeordneten Rotor (2), einem Reaktorboden (3) und einem Reaktordeckel (4), welche zusammen das ringspaltförmige Reaktorvolumen (5) definieren,
- 10 b) mindestens einer Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten sowie
- c) einer Vorrichtung (7) für den Produktablauf,
- dadurch gekennzeichnet, daß
- 15 d) bei der Stoffumwandlung eine Änderung der Viskosität ν des Reaktionsmediums eintritt und
- e) die Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet ist oder sind, daß auf im wesentlichen der gesamten Reaktorlänge im Reaktorvolumen (5) die Bedingungen für die
- 20 Taylor-Wirbelströmung erfüllt sind.

2. Der Taylorreaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) und der Rotor (2) in die gleiche Richtung rotieren, wobei die Winkelgeschwindigkeit des Rotors (2) größer ist als die der
- 25 äußeren Reaktorwand (1) oder daß die äußere Reaktorwand (1) stationär ist, und wogegen der Rotor (2) sich dreht.

3. Der Taylorreaktor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) und der Rotor (2) über die gesamte
- 30 Reaktorlänge hinweg - im Querschnitt gesehen - einen im wesentlichen kreisförmigen Umfang aufweisen.

4. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß er vertikal gelagert ist, wobei das Reaktionsmedium entgegen der Schwerkraft bewegt wird.
5. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (2) zentrisch gelagert ist.
6. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (7) für den Ablauf der Produkte an der höchsten Stelle des Reaktordeckels (4) angebracht ist.
7. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet ist oder sind, daß sich der Ringspalt in Durchflußrichtung verbreitert.
8. Der Taylorreaktor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) in Durchflußrichtung gesehen erhöht, wobei der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt, sich ebenfalls erhöht oder sich verringert.
9. Der Taylorreaktor nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) die Form eines einzelnen Kegelstumpfs hat oder aus mehreren Kegelstümpfen zusammengesetzt ist.
10. Der Taylorreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet ist oder sind, daß sich der Ringspalt in Durchflußrichtung verengt.

11. Der Taylorreaktor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Umfang der äußeren Reaktorwand (1) in Durchflußrichtung gesehen verringert, wobei der Umfang des Rotors (2) konstant bleibt, sich erhöht und sich ebenfalls verringert.
- 5 12. Der Taylorreaktor nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Reaktorwand (1) die Form eines einzelnen Kegelstumpfs hat oder aus mehreren Kegelstümpfen zusammengesetzt ist.
- 10 13. Verfahren zur Umwandlung von Stoffen, bei dem die Viskosität v des Reaktionsmediums im Verlauf der Reaktion ansteigt, unter den Bedingungen der Taylor-Wirbelströmung, dadurch gekennzeichnet, daß man hierfür einen Taylorreaktor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 verwendet.
- 15 14. Das Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß in dem zuerst durchströmten Teilstück des Taylorreaktors eine erste Reaktion abläuft und in einem – in axialer Durchflußrichtung gesehen – zweiten oder weiteren Teilstück nach mindestens einer weiteren Vorrichtung (6) zur
- 20 Zudosierung von Edukten und/oder Katalysatoren eine zweite, dritte, etc. Reaktion.
- 25 15. Verwendung des Verfahrens gemäß Anspruch 13 oder 14 für die Herstellung von Polymerisaten, Copolymerisaten, Blockcopolymerisaten, Pfpfpmischpolymerisaten, Polykondensations- und Polyadditionsprodukten, Kern-Schale-Latices, Polymerdispersionen, von
- 30 Produkten durch polymeranaloge Reaktionen, wie die Veresterung, Amidierung oder Urethanisierung von Polymeren, welche Seitengruppen enthalten, die für solche Reaktionen geeignet sind, von olefinisch ungesättigten, mit Elektronenstrahlen oder ultraviolettem Licht härtbaren Materialien oder von Mesosphasen.

16. Verfahren zu Umwandlung von Stoffen, bei dem die Viskosität v des Reaktionsmediums im Verlauf der Reaktion absinkt, unter den Bedingungen der Taylor-Wirbelströmung, dadurch gekennzeichnet, daß man hierfür einen Taylorreaktor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6 und 10 bis 12 verwendet.
17. Das Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß in dem zuerst durchströmten Teilstück des Taylorreaktors eine erste Reaktion abläuft und in einem – in axialer Durchflußrichtung gesehen – zweiten oder weiteren Teilstück nach mindestens einer weiteren Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten und/oder Katalysatoren eine zweite, dritte, etc. Reaktion.
18. Verwendung des Verfahrens gemäß Anspruch 16 oder 17 für den Abbau hochmolekularer Stoffe.
19. Verwendung der nach dem Verfahren gemäß Anspruch 13 oder 14 hergestellten Stoffe als Komponenten von Formteilen, Lacken, Klebstoffen und anderen Beschichtungsstoffen sowie von Folien.

Zusammenfassung

Taylorreaktor zur Durchführung von Stoffumwandlungen mit einer äußeren Reaktorwand (1) und einem hierin befindlichen konzentrisch oder exzentrisch angeordneten Rotor (2), einem Reaktorboden (3) und einem Reaktordeckel (4),
5 welche zusammen das ringspaltförmige Reaktorvolumen (5) definieren, mindestens einer Vorrichtung (6) zur Zudosierung von Edukten sowie einer Vorrichtung (7) für den Produktablauf, wobei bei der Stoffumwandlung eine Änderung der Viskosität ν des Reaktionsmediums eintritt und die Reaktorwand
10 (1) und/oder der Rotor (2) geometrisch derart gestaltet ist oder sind, daß auf im wesentlichen der gesamten Reaktorlänge im Reaktorvolumen (5) die Bedingungen für die Taylor-Wirbelströmung erfüllt sind.